

УДК 626/627

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СИСТЕМЫ «СООРУЖЕНИЕ-ОСНОВАНИЕ»
ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

**RESEARCH OF DEFORMATION SYSTEM'S "CONSTRUCTION-BASE"
FOR ACTION STATIC STRESS**

©Палуанов Д. Т.,

канд. техн. наук,

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, (НИИИВП),

г. Ташкент, Узбекистан, doni_pol@mail.ru

©Paluanov D.,

Ph.D., Scientific research institute of irrigation and water problem (SRIIWP),

Tashkent, Uzbekistan, doni_pol@mail.ru

©Нурматов Б. А.,

Ташкентский государственный технический

университет им. И. Каримова,

г. Ташкент, Узбекистан, bahtiyor10.08.1984@mail.ru

©Nurmatov B.,

Tashkent State Technical University named after I. Karimov,

Tashkent, Uzbekistan, bahtiyor10.08.1984@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы исследования деформаций системы «сооружение–основание» в результате действия собственного веса сооружений и гидростатического давления воды верхнего бьефа. С учетом геометрических параметров реальной объекты нами была предложена модель для проведения расчета напряженно–деформированного состояния основания под действием статической нагрузки.

Abstract. In this article is considered problems of researchers of deformation system's "construction–base" for action static stress as a result of sole weight construction and hydrostatical pressure water of forebay. With account of geometrical parameter of real object our self is proposed model for estimation strain–stress distribution bases for action static stress.

Ключевые слова: низконапорные гидротехнические сооружения, основание, напряженно-деформированное состояние, слабый грунт, гидростатическое давление воды, вес сооружения.

Keywords: low-head hydro technical constructions, base, strain-stress distribution, soft ground, hydrostatical pressure water, weight construction.

Низконапорные гидротехнические сооружения (ГТС) по своему назначению относятся к III-ему и ниже классов сооружений и в отличие от средне- и высоконапорных, напорный фронт формируется не только плотиной, но и сооружениями разных типов (водовыпуск, водосброс, перегораживающее сооружение и т. д.). Низконапорные ГТС как бетонные, так и грунтовые представляют собой наиболее распространенный класс сооружений. В последнее время большое внимание уделяется проблемам строительства низконапорных гидротехнических сооружений, которые играют важную роль в гидротехнической практике, в

том числе в рациональном использовании воды различными отраслями экономики страны, особенно в целях орошения сельскохозяйственных культур, водоснабжения и гидроэнергетики.

Существует достаточно большое количество ограничений при возведении низконапорных гидротехнических сооружений, связанных с отсутствием нормативно-технической и проектной документации для их строительства в сложных инженерно-геологических условиях.

По действующим нормативным документам для классов III-IV сооружений не имеют постоянного эксплуатационного персонала, количество контрольно-измерительной аппаратуры на них минимально допустимое.

На территории Республики Узбекистан функционируют более 270 крупных особо важных водно-энергетических объектов, на которых возведены крупные ГТС. От надежности и безопасности этих сооружений во многом зависит устойчивое развитие страны, безопасность населения и объектов инфраструктуры в зоне их влияния.

По данным [1] показывает, что аварийность низконапорных ГТС выше, чем для высоконапорных и средненапорных, что объясняется неудовлетворительным уровнем их технического обслуживания, отсутствием или недостаточным штатом эксплуатационного персонала, необходимых средств для ремонтных работ, а в ряде случаев потерей собственника и эксплуатирующей организации.

Принятый Закон Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» определили важные задачи, регулирующие отношения по обеспечению безопасности ГТС, возникающие при осуществлении деятельности, связанные с их проектированием, строительством и эксплуатацией (1).

В связи с этим, важнейшим вопросом обеспечения безопасности ГТС, является разработка новых инновационных методов и внедрение механизма мониторинга технического состояния ГТС. В этом отношении в республике для крупных и наиболее ответственных ГТС I-II класса требования к обеспечению безопасности удовлетворяются в полной мере, а для наиболее многочисленных низконапорных ГТС III-IV класса, они удовлетворяются не в полной мере и в ряде случаев практически игнорируются и не выполняются.

Согласно существующего КМК «Основания гидротехнических сооружений», при проектировании основания ГТС должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях строительства (2).

В настоящее время разработка эффективных и экономических инженерных мер по подготовке оснований и устройству фундаментов низконапорных ГТС на сложных инженерно-геологических территориях в условиях отсутствия нормативных и технических документов является весьма одной из актуальных проблем.

По данным КМК при проектировании основания ГТС следует выполнять:

–оценку инженерно-геологических условий строительной площадки и прогноз их изменения;

–расчет несущей способности основания и устойчивости сооружения;

–расчет местной прочности основания;

–расчет устойчивости естественных и искусственных склонов и откосов, примыкающих к сооружению;

–расчет деформаций системы «сооружение–основание» в результате действия собственного веса сооружения, давления воды, грунта и т. п. и изменения физико–

механических (деформационных, прочностных и фильтрационных) свойств грунтов в процессе строительства и эксплуатации сооружения, в том числе с учетом их промерзания и оттаивания;

–определение напряжений в основании и на контакте сооружения с основанием и их изменений во времени;

–расчет фильтрационной прочности основания, противодействия воды на сооружение и фильтрационного расхода, а также при необходимости — объемных фильтрационных сил и изменения фильтрационного режима при изменении напряженного состояния основания;

–разработку инженерных мероприятий, обеспечивающих несущую способность оснований и устойчивость сооружения, требуемую долговечность сооружения и его основания, а также при необходимости — уменьшение перемещений, улучшение напряженно-деформационного состояния системы «сооружение–основание», снижение противодействия и фильтрационного расхода.

Поэтому проектируемые сооружения оцениваются данными условиями. Существуют серьезные препятствия для строительства низконапорных ГТС для управления использованием поверхностных речных вод. Причиной являются сложные инженерно-геологические условия территории для строительства сооружений, в частности наличие слабого грунта. При наличии слабых грунтов в основании ГТС, особенно для I-II класса, применены дорогостоящие инженерные меры, в частности, удаление и замена слабого тела, укрепление основания шпунтами, свайными и т. д. А для III-IV класса сооружений такие инженерные меры с экономической точки зрения оказались неприемлемыми. Поэтому в таких сложных инженерно-геологических условиях не строились низконапорные ГТС или, построенные без принятия достаточных мер, они разрушались.

Оптимальный вариант расчета основания низконапорных ГТС имеет большое значение для эффективного и экономичного строительства сооружений. В качестве примера приводим выявление причин аварии, произошедшей на водовыпускном сооружении Междуреченского водохранилища. Сооружения характеризуются следующими параметрами: общая емкость 450 млн м³; отметка НПУ 57,00; площадь зеркала 320,5 км²; водосбросной регулятор 4-х пролетный с диафрагмой и длиной пролета — 5 м; затворы глубинные плоские с сечением — 5×4 м; отметка порога — 51,8 м; напор — 5,2 м; длина сооружения — 87 м; строительная высота — 8,0 м; пропускная способность — 360 м³/с; класс капитальности сооружения — 3; сейсмичность района строительства — 6 баллов (Рисунок 1).

Как показали результаты проведенного анализа, проектирование и строительство основания водовыпускного сооружения проводилось с выполнением условий существующими нормативными документами (КМК), тем не менее, произошла авария, и сооружение разрушилось. Территория строительства сооружений характеризуется со сложными инженерно-геологическими условиями. По результатам проведения окончательной экспертизы на сооружениях выявлено, что разрушение было связано со слабым грунтом основания сооружений, и это привело к разрушению сооружений.

В связи с этим, опираясь, на результаты экспертизы, нами сформулирована гипотеза причины произошедшей аварии на водовыпускной плотине, согласно, которой сила тяжести сооружения и сила гидростатического давления фильтрационного потока способствовала причине сооружения, что обусловил выпор грунта из-под основания сооружения.

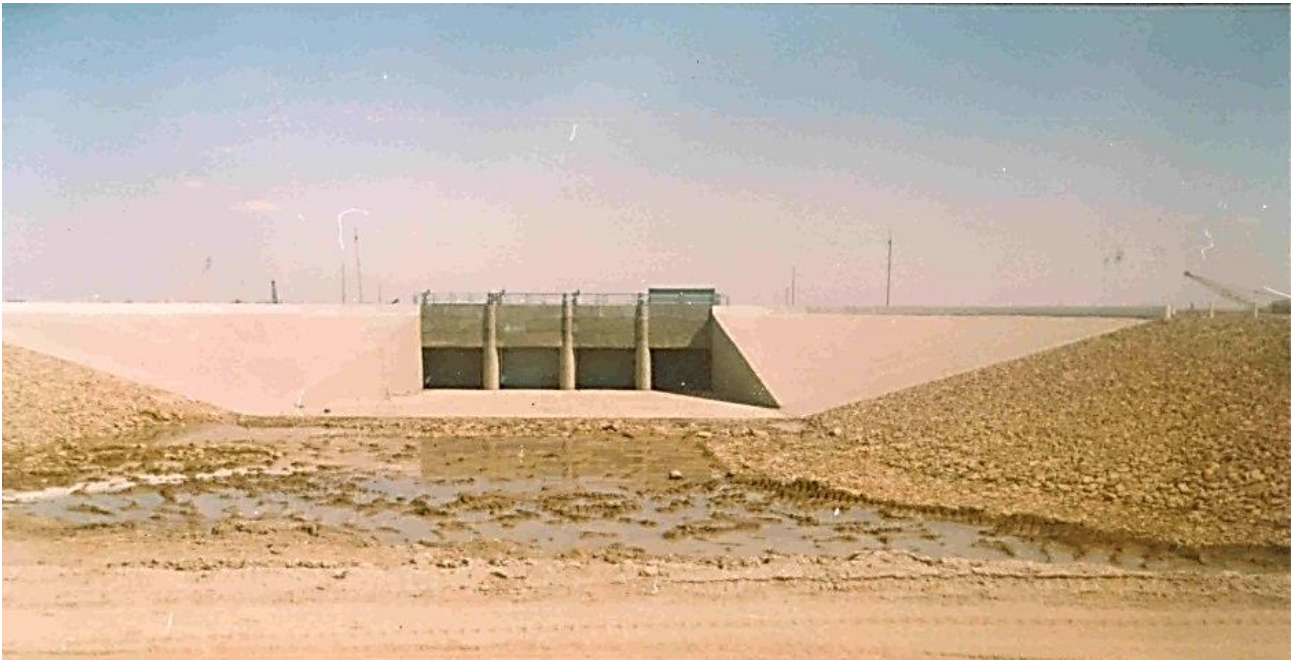


Рисунок 1. Водовыпускное сооружение со стороны верхнего бьефа

Под руководством проф. Е. Курбанбаева [2] были проведены геологические изыскания изучаемой территории, где было расположено водовыпускное сооружение Междуреченского водохранилища. Участок территории сооружения представлен аллювиальными супесями (0,3-3,8), суглинками (0,6-5,8 м) и пылеватыми песками (0,4-4,5 м). Ниже этих слоев наблюдается переслаивание толщ супесей, суглинков и пылеватых песков. Физико-механические характеристики грунтов: модуль упругости (E): песок — 15,6 МПа; супесь — 24,2 МПа; суглинок — 5,5 МПа; плотность песка и супеси — 1,81 т/м³, суглинка — 2,03 т/м³; угол внутреннего трения (град.): песок — 17,3; супесь — 20,4; суглинок — 11,6; сцепление (C): песок — 25 кПа, супесь — 20 кПа, суглинок — 25 кПа [1].

Исходя из основных параметров и геологического условия территории сооружения, нами были проведены исследования на моделях, разработанной сотрудниками Института механики и сейсмостойкости Академии наук Республики Узбекистан. Геометрические размеры расчетной модели (Рисунок 2): мощность каждого грунтового слоя одинакова и составляет — 2,3 м; высота сооружения — 8 м; длина — 87 м; длина основания до и после сооружения принята — 30 м; глубина воды верхнего бьефа — 7 м; плотность тела сооружения — 2,5 т/м³. При расчете учитывались все параметры водовыпускного сооружения.

Расчет в модели производился методом конечных элементов (МКЭ). Исходным уравнением при расчете МКЭ является вариационное уравнение принципа возможных уравнений, согласно которому сумма работ всех сил на возможных перемещениях равна 0.

$$-\int_{V_n} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_n + \int_{V_n} \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{\Sigma} \vec{P} \delta \vec{u} d\Sigma = 0, \quad i, j = 1, 2, n = 1 \dots 4 \quad (1)$$

Здесь: ε_{ij} , σ_{ij} — соответственно, тензоры деформаций и напряжений; $\delta \vec{u}$, $\delta \varepsilon_{ij}$ — изохронные вариации перемещений и деформаций; \vec{f} — вектор массовых сил; \vec{P} — вектор внешних сил (гидростатическое давление воды), приложенных к поверхности [3].

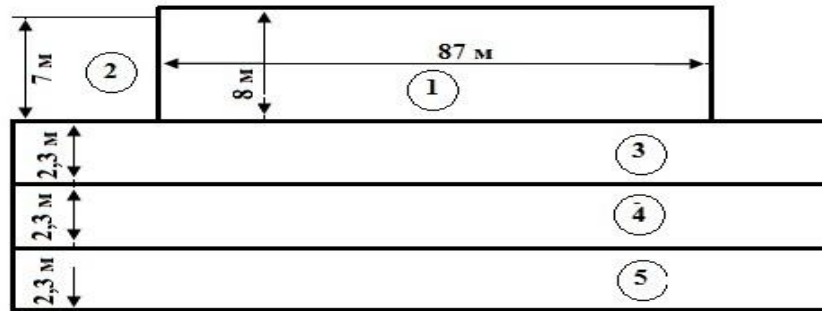


Рисунок 2. Модель для расчетов основания сооружения: 1 — бетонное сооружение; 2 — верхний бьеф; 3, 4, 5 — грунтовое основание, соответственно супесь, суглинок и песок

Задача решается действия собственного веса сооружения и гидростатического давления воды верхнего бьефа.

Граничные условия приняты следующими:

1) На нижней границе основания — жесткие, что выражается в отсутствии здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y = 0: \delta u|_{y=0} = 0; \delta v|_{y=0} = 0 \quad (2)$$

2) На шарнирно-подвижных (вертикальных) боковых границах основания не допускаются горизонтальные перемещения контурных точек:

$$\left. \begin{aligned} \delta u|_{x=0} = 0; \delta v|_{x=0} \neq 0 \\ \delta u|_{x=l} = 0; \delta v|_{x=l} \neq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3) На гребне и боковых гранях сооружения, не контактирующих с водой

$$\sigma_{ij} n_j = 0 \quad (4)$$

где n — вектор нормали к поверхности.

4) На контактирующих с водой поверхностях учет гидростатики сводится к заданию на них гидростатического давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z \quad (5)$$

где z — глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды; g — ускорение свободного падения.

Область максимальных напряжений по каждой из двух форм собственных колебаний на Рисунке 3 показана темным цветом. В обоих случаях эта область на рисунках соответствует ослабленной области грунта основания, где возникают наибольшие напряжения, вызванные наибольшими деформациями указанной области при основных формах.

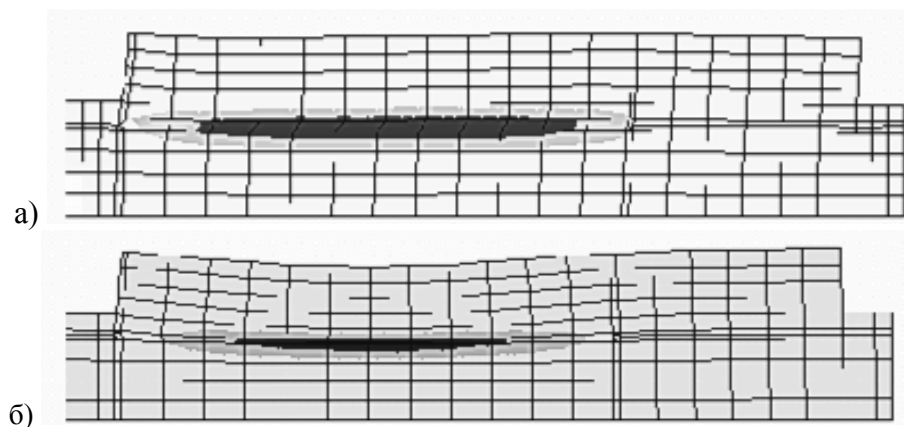


Рисунок 3. Деформационное состояние основания под действием статических нагрузок

Анализ показывает, что при воздействии собственного веса сооружения в основании происходит незначительная деформация под телом сооружения (Рисунок 3а). В этом случае безопасность основания сооружения обеспечивается с учетом сохранности самого тела и основания сооружения [4]. На Рисунке 3б показывает, что при увеличении вертикальной нагрузки происходит деформация самого сооружения, т.е. осадка тела сооружения. В данном случае безопасность сооружения не может быть обеспечена.

Таким образом, слабый грунт (пылеватый песок) является наиболее деформируемой частью, в которой концентрируются значительные касательные и нормальные напряжения, способные привести к разрушению породы вблизи этой ослабленной зоны.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие *выводы*:

1. Предложена модель со скользящими боковыми границами для проведения расчета напряженно-деформированного состояния основания сооружений под действием статической нагрузки, представленной собственным весом и гидростатическим давлением воды верхнего бьефа.

2. Определены и проанализированы результаты напряженно-деформированного состояния основания сооружений с учетом статической нагрузки и оценено влияние на них дополнительной нагрузки.

3. Влияние гидростатической нагрузки на напряженно-деформированное состояние основания рассмотренной задачи относительно невелико. Это объясняется малой глубиной воды верхнего бьефа, формирующей гидростатическую нагрузку, величина которой по сравнению с нагрузкой от собственного веса сооружения незначительна.

4. Разработанная модель может быть использована для повышения устойчивости основания низконапорных гидротехнических сооружений на сложных инженерно-геологических условиях территории.

Источники:

(1). Закон Республики Узбекистан от 20 августа 1999 г. №826-1 «О безопасности гидротехнических сооружений». Режим доступа: <https://clck.ru/D8MMX> (дата обращения 21.01.2018).

(2). КМК 2.02.02-98. Основания гидротехнических сооружений. Т.: Госкомархитектстрой РУз, 1998. 130 с. Режим доступа: <https://clck.ru/D8MRd> (дата обращения 21.01.2018).

Список литературы:

1. Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. и др. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 283 с.
2. Аимбетов И. К. К вопросу надежного проектирования инженерных сооружений для создания искусственных водоемов в Южном Приаралье // Материалы II-Международ. науч.-прак. конф. «Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства». Тараз, 2016. С. 181-184.
3. Палуанов Д. Т. Исследование системы «низконапорная плотина-неоднородное основание» при сейсмических воздействиях // Вестник Ташкентского государственного технического университета. 2016. №1. С. 8-14.
4. Палуанов Д. Т. Напряженно-деформированное состояние основания низконапорных плотин на слоистых грунтах // Экология и строительство. 2016. №3. С.4-9.

References:

1. Shchedrin, V. N., Kosichenko, Yu. M., & Baklanova, D. V., et al. (2016). Providing safety and reliability of low-pressure hydraulic structures. Novocherkassk: *RosNIIPM*, 283
2. Aimbetov, I. K. (2016). On the Reliable Design of Engineering Structures for the Creation of Artificial Water Reservoirs in the Southern Aral Region, *Proceedings of II-International. scientific-prak. Conf. Scientific support as a factor of sustainable development of the water sector"* Taraz, 181-184
3. Paluanov, D. T. (2016). Investigation of the "low-pressure dam-inhomogeneous base" system under seismic actions. *Bulletin of the Tashkent State Technical University*, (1). 8-14
4. Paluanov, D. T. (2016). The stress-strain state of the base of low-pressure dams on layered soils. *Ecology and construction*, (3). 4-9

*Работа поступила
в редакцию 19.03.2018 г.*

*Принята к публикации
23.03.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Палуанов Д. Т., Нурматов Б. А. Исследование деформаций системы «сооружение-основание» при действии статических нагрузок // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №4. С. 268-274. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/paluanov> (дата обращения 15.04.2018).

Cite as (APA):

Paluanov, D., & Nurmatov, B., (2018). Research of deformation system's "construction-base" for action static stress. *Bulletin of Science and Practice*, 4, (4), 268-274